

УДК 621.923

О.О. АНДІЛАХАЙ, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», Маріуполь;
І.В. ГЕРШИКОВ, інж., ЗАТ «Азовський машинобуд. завод», Бердянськ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ТА УМОВ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ

Наведені аналітичні залежності для визначення енергоємності абразивної обробки й обґрунтовані умови її зменшення. Умови переходу від процесу пластичного деформування матеріалу до процесу різання описані аналітично. Надані практичні рекомендації з удосконалювання абразивної обробки.

Ключові слова: абразивна обробка, процес різання, енергоємність обробки, сила різання.

Вступ. Абразивна обробка є ефективним методом фінішної обробки деталей машин, однак, як відомо, характеризується високою енергоємністю, що не дозволяє в максимальній мірі використовувати її потенційні можливості. Тому визначення умов зменшення енергоємності абразивної обробки представляється важливим і актуальним завданням, спрямованим на підвищення якості та продуктивності обробки. Розв'язанню даного завдання присвячені роботи [1, 2]. Разом з тим, вони засновані на експериментальному дослідженні енергоємності для окремих умов обробки, що не дозволяє науково обґрунтовано підійти до вибору раціональних варіантів абразивної обробки за критерієм найменшої енергоємності.

Для вирішення даного завдання необхідні більш загальні теоретичні результати, засновані на математичному моделюванні закономірностей зміни енергоємності абразивної обробки. Науковими передумовами цього можуть бути опубліковані в останні роки роботи *проф. Новікова Ф.В.* [3, 4], подальший розвиток яких відкриває нові технологічні можливості визначення умов зменшення енергоємності абразивної обробки.

Ціль роботи – провести теоретичний аналіз енергоємності абразивної обробки та умов її зменшення.

Основні співвідношення моделі. Для вирішення поставленого завдання скористаємося підходом, запропонованим у роботі [3] стосовно до процесу різання зі змінною товщиною зрізу (рис. 1). Припустимо, що з боку абразивного зерна, що рухається зі швидкістю V_0 , на оброблюваний матеріал діють тангенціальна P_z й радіальна P_y складові сили різання, які викликають періодичне руйнування (зсув) матеріалу уздовж умовної *площини зсуву*, розташованої під кутом β до напрямку руху зерна. Для визначення положення умовної площини зсуву матеріалу встановимо дотичну напругу τ , яка виникає в

© О. О. Анділахай, І. В. Гершиков, 2012

даній площині:

$$\tau = (P_z \cdot \cos \beta - P_y \cdot \sin \beta) / (e \cdot L), \quad (1)$$

де b – ширина зрізу, м; $L = OA$ – довжина умовної площини зсуву матеріалу, м.

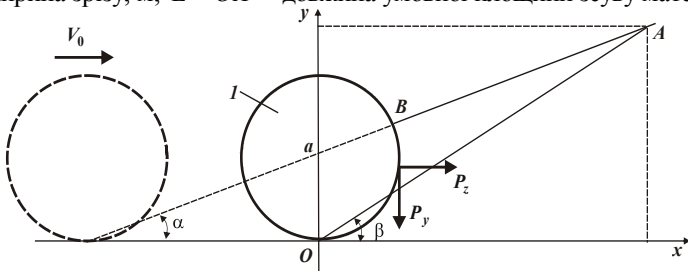


Рис. 1 – Розрахункова схема процесу стружкоутворення при різанні
одиничним абразивним зерном 1.

Довжину L знайдемо на основі розв'язання двох тригонометричних рівнянь, які випливають із рис. 1:

$$\begin{cases} y = a + tg\alpha \cdot x, & y = tg\beta \cdot x, \end{cases} \quad (2)$$

де x , y – координати точки перетинання умовної площини зсуву OA з оброблюваною поверхнею BA ; a – товщина зрізу, м; α – кут входу абразивного зерна в оброблюваний матеріал.

Вирішуючи систему рівнянь (2), маємо

$$x = a / (tg\beta - tg\alpha), \quad (3)$$

$$L = \frac{x}{\cos \beta} = \frac{a}{\cos \beta \cdot (tg \beta - tg \alpha)}. \quad (4)$$

Після перетворення залежності (1), з урахуванням (4), одержуємо:

$$\tau = \frac{P_y \cdot \cos \beta \cdot (tg \beta - tg \alpha)}{\theta \cdot q} \cdot (K_u \cdot \cos \beta - \sin \beta), \quad (5)$$

де $K_m = P_z / P_y = ctg(\psi + \gamma)$ – коефіцієнт шліфування [4]; ψ – умовний кут тертя абразивного зерна з оброблюваним матеріалом; γ – негативний передній кут ріжучого абразивного зерна.

Позначаючи $\psi + \gamma = \psi_1$ й розглядаючи рівняння $K_{III} = ctg\psi_1$, маємо:

$$\tau = \frac{P_y}{2 \cdot b \cdot a \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \alpha} \cdot [\sin(2\beta - \alpha + \psi_1) - \sin(\alpha + \psi_1)]. \quad (6)$$

Дотична напруга τ зі збільшенням кута β змінюється за законом синусоїди $\sin(2\beta - \alpha + \psi_1)$. За умови $\sin(2\beta - \alpha + \psi_1) = 1$ напруга τ приймає макси-

мальне значення τ_{\max} . Кут β , що відповідає максимальній напрузі τ_{\max} , буде визначати положення умовної площини зсуву матеріалу:

$$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha - \psi_1}{2}. \quad (7)$$

Умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу β тим більше, чим більше кут входу зерна в оброблюваний матеріал α і менше кут $\psi_1 = \psi + \gamma$. Підставляючи залежність (7) в (6), визначимо максимальну дотичну напругу:

$$\tau_{\max} = \frac{P_y}{\sigma \cdot a \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \alpha} \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2} - \frac{\psi_1}{2} \right). \quad (8)$$

Зсув оброблюваного матеріалу в умовній площині OA відбудеться за умови досягнення максимальною напругою τ_{\max} межі міцності на зсув оброблюваного матеріалу $\tau_{зсув}$. Тоді, приймаючи $\tau_{\max} = \tau_{зсув}$, із залежності (8) можна визначити радіальну складову сили різання P_y :

$$P_y = 2 \cdot a \cdot \sigma \cdot \tau_{зсув} \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}. \quad (9)$$

Відповідно, тангенціальна складову сили різання P_z дорівнює

$$P_z = P_y \cdot K_{\text{ш}} = P_y \cdot \text{ctg} \psi_1 = 2 \cdot a \cdot \sigma \cdot \tau_{зсув} \cdot \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}. \quad (10)$$

Представляючи тангенціальну складову сили різання в вигляді $P_z = a \cdot \sigma$, умовна напруга різання або енергоємність обробки σ виразиться так:

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot \tau_{зсув}}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}. \quad (11)$$

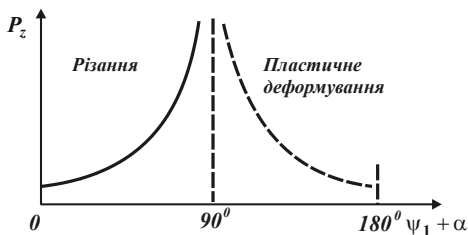
Аналіз результатів моделювання. Із залежностей (9), (10) і (11) впливає неоднозначний характер зміни радіальної P_y й тангенціальної P_z складових сили різання, а також умовної напруги різання σ , зі збільшенням кутів ψ_1 і α . Для визначення екстремуму функції P_z підкоримо залежність (10) необхідній умові екстремуму: $(P_z)'_{\alpha} = 0$. Після перетворень одержимо

$$\alpha = 90^0 - \psi_1. \quad (12)$$

Підставляючи залежність (12) в (10), бачимо, що в точці екстремуму функція $P_z \rightarrow \infty$ (рис. 2). Це пов'язане з тим, що умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу β , який визначається залежністю (7), стає рівним куту α .

У результаті, виходячи з рис. 1, умовна площина зсуву OA не перетинається з оброблюваною поверхнею BA й процес стружкоутворення відсутній, має місце лише пластичне деформування оброблюваного матеріалу.

Даний висновок впливає з наступного. Якщо позначити кут $\psi_1 + \alpha = z$,



то $\alpha = z - \psi_1$. Підставляючи дане співвідношення в залежність (7), одержимо

$$\beta = \pi / 4 + z / 2 - \psi_1.$$

За умови $z = 90^\circ$ (рис. 2) кут $\beta = 90^\circ - \psi_1$. Таке ж значення приймає й кут

Рис. 2 – Загальний вигляд залежності P_z .

$$\alpha = z - \psi_1 = 90^\circ - \psi_1.$$

Отже, у точці екстремуму функції P_z умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу $\beta = \alpha$.

При куті $z > 90^\circ$, наприклад, коли $z = 110^\circ$, кут $\beta = 100^\circ - \psi_1$, а кут

$$\alpha = z - \psi_1 = 110^\circ - \psi_1,$$

тобто $\beta < \alpha$. У цьому випадку, очевидно, процес стружкоутворення (різання) буде відсутній, а буде мати місце лише пластичне деформування оброблюваного матеріалу (без утворення стружки).

В узагальненому вигляді характер зміни кутів β і α від кута z показаний у табл. 1, а також на рис. 3. Як видно, при зміні z в межах $0 < z < 90^\circ$ кут $\beta < \alpha$. При $z = 90^\circ$ відповідно $\beta = \alpha$, а при $z > 90^\circ$ справедлива умова $\beta < \alpha$.

Таблиця 1 – Розрахункові значення кутів β і α , град

z	0	30	45	60	90	110	160
β	$45^\circ - \psi_1$	$60^\circ - \psi_1$	$67,5^\circ - \psi_1$	$75^\circ - \psi_1$	$90^\circ - \psi_1$	$100^\circ - \psi_1$	$125^\circ - \psi_1$
α	$-\psi_1$	$30^\circ - \psi_1$	$45^\circ - \psi_1$	$60^\circ - \psi_1$	$90^\circ - \psi_1$	$110^\circ - \psi_1$	$160^\circ - \psi_1$

З табл. 1 також впливає, що при відносно великому значенні кута $\psi_1 = \psi + \gamma$ (а саме, при $\psi_1 \rightarrow 90^\circ$) умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу β буде негативним фактично у всьому діапазоні зміни кута ψ_1 . У цьому випадку процес різання буде відсутній. Він можливий лише при великому значенні кута $z \rightarrow 90^\circ$, коли кути β й α позитивні (рис. 3 а).

Якщо ж кути β й α за умови $z = 90^\circ$ негативні (рис. 3 б), то процес різання буде відсутній. Таким чином доведено, що при зміні кута $z = \psi_1 + \alpha$ в

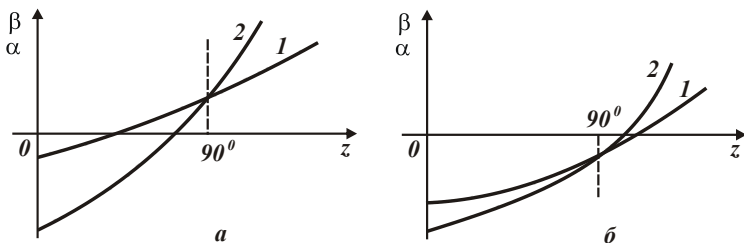


Рис. 3 – Характер зміни кутів β (1) і α (2) в залежності від кута z .

а – β і α позитивні, при $z \rightarrow 90^\circ$; б – β і α негативні, при $z \rightarrow 90^\circ$.

межах $0 < \psi_1 + \alpha < 90^\circ$ можливий процес різання, а при $90^\circ < \psi_1 + \alpha < 180^\circ$ відбувається процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу. Із цього випливає, що істотно зменшити тангенціальну складову сили різання P_z можна при умові:

$$\psi_1 + \alpha < 90^\circ. \quad (13)$$

Для виконання умови (13) необхідно зменшувати як ψ_1 , так і α . Як відзначалося вище, кут $\psi_1 = \psi + \gamma$ за рахунок відносно великого негативного переднього кута ріжучого абразивного зерна $\gamma = 45 \dots 60^\circ$ може приймати значення, близькі до 90° . Тому реалізувати умову (13) можна лише при досить малих значеннях кута $\alpha \rightarrow 0$. Отже, процес стружкоутворення можливий фактично при різанні з постійною товщиною зрізу ($\alpha = 0$). У протилежному випадку буде здійснюватися процес пластичного деформування матеріалу з більш високою силовою напруженістю.

Виконати умову (13) можна також за рахунок різання зі зменшеною товщиною зрізу ($\alpha < 0$). У цьому випадку кут $z = \psi_1 - \alpha$ можна зменшити фактично до нуля (за умови $\alpha = \psi_1$), і тим самим реалізувати найменше значення тангенціальної складової сили різання P_z (рис. 2).

Зауважимо, що це надзвичайно важливе рішення, тому що воно, по суті, визначає технологічні можливості *струменево - абразивної обробки* й зокрема методу абразивної обробки деталей затопленими струменями. Дане рішення вказує на можливість ефективного застосування прогресивного способу струменево - абразивної гідроротаційної обробки (зачищення) дрібних деталей масою до 3 грамів із складною просторовою формою [5].

Оскільки ріжуче зерно за формою наближається до форми кулі, то, як відзначалося вище, за умови $\alpha < 0$ кут $z = \psi_1 - \alpha < 90^\circ$, і фактично завжди буде здійснюватися процес стружкоутворення при взаємодії абразивного зерна з оброблюваним матеріалом. Це забезпечує менші енергетичні витрати на обробку, ніж при пластичному деформуванні металу без відділення стружки.

Таблиця 2 – Розрахункові значення відношення $\sigma/2\tau_{зсув}$

$\psi_1^0 \backslash \alpha^0$	0	10	20	30	45	60
30	1,732	2,387	3,477	5,6	18	∞
45	2,357	3,844	7,144	17,95	∞	
60	3,73	8,21	30,91	∞		
70	5,43	22,45	∞			
90	∞					

Необхідно відзначити, що дана умова справедлива при використанні ріжучого елемента у формі кулі, яка має значний негативний передній кут різання. При позитивному передньому куті інструмента (при різанні лезовим інструментом) умовний кут ψ_1 буде приймати відносно невеликі значення, а позитивний кут α може змінюватися в більш широких межах, наприклад, $0 < \alpha < 45^\circ$ і більше.

Це впливає з наступного. Так, при $z = \psi_1 + \alpha = 60^\circ$ умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу $\beta = 75^\circ - \psi_1$, а кут $\alpha = 60^\circ - \psi_1$. Отже, $\beta > \alpha$ і можливий процес стружкоутворення. Цим показано, що різання лезовим інструментом з позитивним переднім кутом у порівнянні з мікрорізанням абразивним зерном характеризується більшими технологічними можливостями з точки зору здійснення процесу стружкоутворення й зниження силової напруженості процесу.

У табл. 2 наведені розрахункові значення відношення $\sigma/2\tau_{зсув}$, отримані на основі залежності (11). Як видно, зі збільшенням кутів α і ψ_1 відношення $\sigma/2\tau_{зсув}$ необмежено збільшується. Отже, домогтися найменшого значення енергоємності обробки σ можна за умови $\alpha = 0$, тобто при різанні з постійною товщиною зрізу.

Залежність енергоємності від параметрів процесу різання. Проведемо більш повний аналіз енергоємності обробки при різанні. Для цього перетворимо залежність (11), виражаючи її через умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу β , що визначається залежністю (7):

$$\sigma = \frac{\tau_{зсув} \cdot \sin(2\beta - \alpha) \cdot \cos \alpha}{\sin^2(\beta - \alpha)}. \quad (14)$$

Як показано вище, за умови $\beta < \alpha$ процес різання (стружкоутворення) відсутній, можливий лише процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу. Процес різання (стружкоутворення) може протікати за умови $\beta > \alpha$. Тому, виходячи із залежності (14), зі збільшенням умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу β , починаючи зі значення $\beta = \alpha$, енергоємність обро-

бки σ буде зменшуватися (рис. 4) у зв'язку зі збільшенням функції $\sin^2(\beta - \alpha)$.

Функція $\sin(2\beta - \alpha)$, що входить до залежності (14), зі збільшенням кута β збільшується, починаючи зі значення $\beta > \alpha/2$. При менших значеннях β , тобто при $\beta < \alpha/2$, функція $\sin(2\beta - \alpha)$ негативна, також як і функція

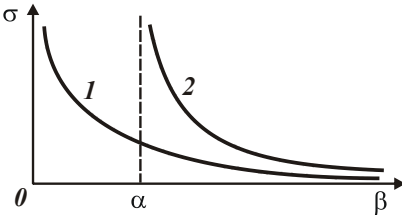


Рис. 4 – Залежність σ від кута β : 1 – $\alpha = 0$; 2 – $\alpha > 0$

$\sin(\beta - \alpha)$, що входить до залежності (14). Тому процес різання (стружкоутворення) відсутній.

На рис. 5 представлений узагальнений графік зміни σ від двох змінних величин: z і β . Як видно, процес різання (стружкоутворення) можливий у діапазонах $\beta > \alpha$ і $z < 90^\circ$.

Залежності (11) і (14) містять по три різні тригонометричні функції, що утрудняє аналіз енергоємності обробки σ . Тому важливо спростити дані залежності, виражаючи σ через одну або дві тригонометричні функції. Для цього перетворимо залежність (11) з урахуванням відомого співвідношення

$$\cos \psi_1 = \cos[(\alpha + \psi_1) - \alpha] = \cos(\alpha + \psi_1) \cdot \cos \alpha + \sin(\alpha + \psi_1) \cdot \sin \alpha.$$

Тоді

$$\sigma = 2\tau_{зсув} \cos \alpha \left\{ \cos \alpha \operatorname{tg} \left[45^\circ + \frac{\alpha + \psi_1}{2} \right] + \frac{\sin \alpha}{2} \left[\operatorname{tg}^2 \left[45^\circ + \frac{\alpha + \psi_1}{2} \right] - 1 \right] \right\}. \quad (15)$$

При умові $\alpha + \psi_1 < 90^\circ$ другий доданок залежності (15) буде менше першого доданка, тому їм у першому наближенні можна зневажити. Тоді залежність (15) спроститься й прийме вигляд:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{зсув} \cdot \cos^2 \alpha}{\operatorname{tg} \left[45^\circ - (\alpha + \psi_1) / 2 \right]} = \frac{2 \cdot \tau_{зсув} \cdot \cos^2 \alpha}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)}. \quad (16)$$

Виходячи із залежності (16), у випадку різання з товщиною зрізу, що збільшується в часі ($\alpha > 0$), процес стружкоутворення починається за умови $\beta = \alpha$.

Якщо $\beta < \alpha$, то має місце лише процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу.

Як наслідок, за умови $\beta = \alpha$ енергоємність обробки $\sigma \rightarrow \infty$.

Отже, процес стружкоутворення починається не в початковий момент обробки, як у випадку $\alpha = 0$, а через певний час, коли умовний кут зсуву об-

роблюваного матеріалу β досягне значення кута α (рис. 4). Тому у випадку різання з постійною товщиною зрізу ($\alpha = 0$) процес менш енергоємний у порівнянні з різанням з товщиною зрізу, що збільшується в часі ($\alpha > 0$). При цьому, в останньому випадку складніше здійснити процес стружкоутворення й, відповідно, процес різання, оскільки треба реалізувати умову $\beta > \alpha$, яка виконується не в початковий момент обробки (як у випадку $\alpha = 0$), а при досягненні певної товщини зрізу.

Відповідно до залежності (7), збільшити кут β і зменшити енергоємність обробки σ (рис. 4) можна за рахунок зменшення негативного переднього кута γ ріжучого зерна.

При різанні одиничним абразивним зерном зі змінною товщиною зрізу кут γ буде змінним (рис. 6). Тому встановимо зв'язок між змінною товщиною зрізу a та переднім кутом γ , розглядаючи в розрахунковій схемі передній кут γ , що утворений дотичною до окружності радіусом R (у верхній точці контакту оброблюваного матеріалу з ріжучим зерном) і вертикальною віссю.

Виходячи з розрахункової схеми (рис. 6), складемо рівняння:

$$R = R \cdot \sin \gamma + a.$$

Звідки

$$\sin \gamma = 1 - a/R. \quad (17)$$

Із залежності (17) випливає, що зі збільшенням відношення a/R передній кут γ зменшується, а це приводить до збільшення умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу β , відповідно до залежності (7), і зменшення енергоємності обробки σ .

За умови $\beta = \alpha$ починається процес стружкоутворення. Кут γ при цьому визнача-

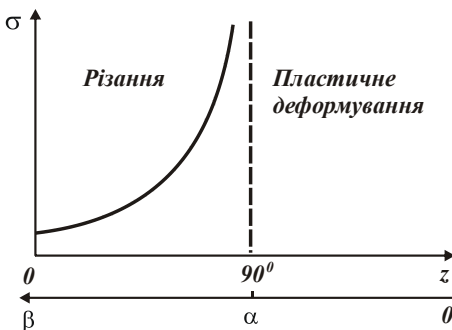


Рис. 5 – Залежність σ від кутів z та β .

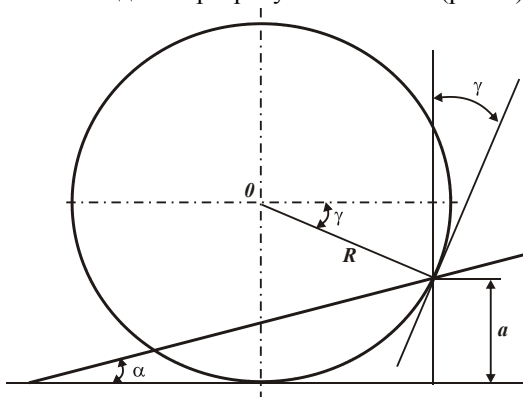


Рис. 6 – Розрахункова схема процесу мікрорізання одиничним зерном.

ється із залежності (7), розглядаючи в ній $\beta = \alpha$.

Тоді $\gamma = 90^\circ - \alpha - \psi$ і співвідношення (17) виражається так:

$$\frac{a}{R} = 1 - \cos(\alpha + \psi). \quad (18)$$

У результаті отримана аналітична залежність для визначення відношення a/R , при досягненні якого настає процес стружкоутворення. Як видно, товщина зрізу a тим менше, чим менше умовний кут тертя ψ й кут α . Тому з погляду підвищення ефективності процесу різання доцільно зменшувати коефіцієнт тертя ріжучого зерна з оброблюваним матеріалом і кут α входу зерна в оброблюваний матеріал. У цьому випадку процес пластичного деформування матеріалу переходить у процес стружкоутворення (різання) при меншій товщині зрізу a й меншій довжині l шляху різання абразивним зерном. Це впливає з аналітичної залежності, отриманої на основі розрахункової схеми, наведеної на рис. 6, з урахуванням залежності (18):

$$l = \frac{a}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{R \cdot [1 - \cos(\alpha + \psi)]}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (19)$$

Зі збільшенням кута α знаменник залежності (19) збільшується більш інтенсивно, ніж чисельник. Тому величина l буде зменшуватися зі збільшенням кута α . Зі збільшенням кута ψ , навпаки, величина l буде збільшуватися.

Отримані теоретичні рішення кореспондуються з відомими експериментальними даними [6], отриманими при шліфуванні, коли в початковий момент обробки процес стружкоутворення (різання) відсутній, а має місце інтенсивне тертя абразивного зерна з оброблюваним матеріалом і пластичне деформування матеріалу.

Так, встановлено, що при глибинному шліфуванні, коли утворюються довгі стружки, а кут α входу зерна в оброблюваний матеріал невеликий, процес стружкоутворення утруднений. Спостерігається інтенсивне тертя абразивних зерен з оброблюваним матеріалом, що приводить до збільшення енергоємності обробки.

При багатопрхідному шліфуванні, навпаки, довжина зрізу менша, а кут α більше. У підсумку спостерігається інтенсивне стружкоутворення й процес шліфування протікає з меншою енергоємністю.

Використовуючи залежність (17), визначимо енергоємність обробки σ відповідно до залежності (16):

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{\text{зсв}} \cdot \cos^2 \alpha}{\sqrt{\frac{a}{2R} - \operatorname{tg} \frac{\alpha + \psi}{2}}}. \quad (20)$$

За умови

$$\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\alpha + \psi}{2} = 0$$

енергоємність обробки σ приймає нескінченно велике значення ($\sigma \rightarrow \infty$), тому процес стружкоутворення відсутній, відбувається лише пластичне деформування оброблюваного матеріалу.

Граничне значення відношення a_1 / R , при якому процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу переходить у процес різання, визначається так:

$$\frac{a_1}{R} = 2 \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha + \psi}{2}. \quad (21)$$

Збільшення кута α припускає збільшення відношення a_1 / R , що свідчить про погіршення умов стружкоутворення.

Як впливає із залежності (20), енергоємність обробки σ при різанні з товщиною зрізу, що збільшується в часі ($\alpha > 0$), вища, ніж при різанні з постійною товщиною ($\alpha = 0$). Це пов'язане з тим, що в початковий момент обробки у випадку $\alpha > 0$ умовний кут зсуву матеріалу $\beta \leq \alpha$. Тому довжина умовної площини зсуву матеріалу приймає досить велике значення, що вимагає значного зусилля для руйнування матеріалу уздовж умовної площини зсуву, розташованої під кутом β до напрямку руху зерна.

Іншими словами, збільшення енергоємності обробки σ при різанні з товщиною зрізу, що збільшується в часі ($\alpha > 0$), у порівнянні з різанням з постійною товщиною зрізу ($\alpha = 0$), пов'язане з гіршими умовами стружкоутворення, тому що в цьому випадку умовою переходу від пластичного деформування матеріалу до процесу стружкоутворення й різання є рівність кутів $\beta = \alpha$. Очевидно, реалізувати дану умову значно складніше, ніж при різанні з постійною товщиною зрізу ($\alpha = 0$), де перехід від пластичного деформування матеріалу до процесу стружкоутворення й різання відбувається за умови $\beta = 0$.

Висновки. Розроблена математична модель визначення енергоємності абразивної обробки. Проведено теоретичний аналіз умов стружкоутворення при різанні окремим абразивним зерном і визначені основні параметри силової напруженості процесу абразивної обробки, включаючи складові сили різання й умовну напругу різання (енергоємність обробки). Це дозволило теоретично з єдиних позицій обґрунтувати основні умови зменшення енергоємності абразивної обробки й відповідно підвищення її ефективності.

Отримано аналітичну залежність, що встановлює взаємозв'язок між ене-

ргоємністю обробки й товщиною зрізу. Доведено, що зі збільшенням товщини зрізу енергоємність обробки монотонно зменшується як у випадку різання з постійною товщиною, так і з товщиною зрізу, що збільшується в часі.

Установлено, що у випадку різання з постійною товщиною зрізу енергоємність обробки починає зменшуватися при нульовому значенні товщини зрізу. У випадку різання з товщиною зрізу, що збільшується в часі, енергоємність обробки починає зменшуватися при товщині зрізу, яка відповідає переходу від процесу пластичного деформування матеріалу до процесу стружкоутворення (різання).

Таким чином доведено, що енергоємність обробки при різанні з товщиною зрізу, що збільшується в часі, завжди більша, ніж при різанні з постійною товщиною зрізу.

Список літератури: 1. Семко М.Ф. Взаимосвязь условного напряжения резания и прочности микрокромов алмазных зерен с их работоспособностью / М.Ф. Семко, М.Д. Узунян, Ю.А. Сизый // Синтетические алмазы. – 1975. – Вып. 2. – С. 16-19. 2. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с. 3. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 5. Анділахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Анділахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с. 6. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С.С. Силин, В.А. Хрульков, А.В. Лобанов, Н.С. Рыкунов. – М.: Машиностроение, 1984. – 62 с.

Надійшла до редакції 25.09.2012.

УДК 621.923

Математична модель визначення енергоємності абразивної обробки та умов її зменшення / О.О. Анділахай, І.В. Гершиков // Вісник НТУ «ХП». Серія «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – Харків: НТУ «ХП». – 2012. – №54 (960). – С.3-13. – Бібліогр.: 6 назв.

Приведены аналитические зависимости для определения энергоемкости абразивной обработки и обоснованы условия ее уменьшения. Условия перехода от процесса пластического деформирования материала к процессу резания описаны аналитически. Даны практические рекомендации по совершенствованию абразивной обработки.

Ключевые слова: абразивная обработка, процесс резания, энергоемкость обработки, сила резания.

Analytical dependences to determine the energy consumption of abrasive processing and substantiates its reduction. Conditions for the transition from the process of plastic deformation of the material to the cutting process are described analytically. Practical recommendations for improving abrasion.

Keywords: abrasion, cutting process, energy processing, power of cutting.